

0-734607

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

ФЁДОРОВ ВЛАДИСЛАВ НИКОЛАЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДВУХФАЗНОЙ
ФИЛЬТРАЦИИ В СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТАХ

01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

КАЗАНЬ-2003



Работа выполнена в Отделении механики Научно-исследовательского института математики и механики им. Н.Г. Чеботарева Казанского государственного университета.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
доцент А.Н. Чекалин

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Ю.М. Молокович

доктор физико-математических наук,
профессор Г.В. Голубев

Ведущая организация: Институт механики и машиностроения
Казанского научного центра РАН.

Защита состоится "19" июня 2003 г. в 14 час. 30 мин. в аудитории физ. 2 на заседании диссертационного Совета Д 212.081.11 при Казанском государственном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского государственного университета.

Автореферат разослан "17" мая 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета,
кандидат физ.-мат. наук, доцент



А.А. Саченков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Вопросу вытеснения нефти водой в пористой среде посвящено большое число исследований, что связано как с актуальностью данной проблемы, так и со значительными трудностями, возникающими при его решении. Для более глубокого понимания этого вопроса необходимы как промысловые и лабораторные, так и вычислительные эксперименты. Современная технология вычислительного эксперимента включает в себя выбор гидродинамической, математической и численной моделей, обеспечивающих достижение цели исследования, разработку соответствующих алгоритмов и их программную реализацию.

Как известно, в сильно неоднородных пластах нагнетаемая вода прорывается к добывающим скважинам по высокопроницаемым слоям и зонам, оставляя невытесненной нефть в малопроницаемых областях. Дополнительный охват заводнением не вовлеченных в разработку нефтенасыщенных зон и участков может способствовать увеличению нефтеотдачи пластов при обычном заводнении, продлению безводного периода добычи нефти, уменьшению относительных объемов добываемой воды и т.п. Одним из способов достижения указанной цели может служить предложенное в 50-е годы циклическое заводнение послойно неоднородных продуктивных пластов.

На основании промысловых экспериментов и математического моделирования показана эффективность циклического воздействия на трещиновато-пористые пласты с коротким периодом (часы, дни). В то же время в рамках обычных предположений теории двухфазной фильтрации из-за того, что не учитывается различие относительных фазовых проницаемостей пропластков, не удастся объяснить эффективность циклического воздействия на пласты, образованные слоями. Таким образом, возникает необходимость в более глубоком изучении и анализе данного явления.

В данной работе предлагается учесть различия относительных фазовых проницаемостей пропластков, исследовать влияние циклического воздействия на процесс фильтрации и определить каким образом эффективность периодического

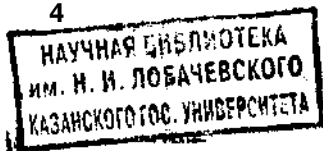
воздействия зависит от фильтрационно-ёмкостных параметров пласта.

Цели диссертационной работы:

- разработка численной модели с учетом различия относительных фазовых проницаемостей пропластков и создание на ее основе программы для ЭВМ, позволяющей проводить вычислительный эксперимент по моделированию процесса нестационарной двухфазной фильтрации в слоисто-неоднородных пластах;
- исследование с помощью вычислительного эксперимента процесса фильтрации при периодическом воздействии на слоистые пласты и пласты с включениями;
- анализ влияния фильтрационно-ёмкостных параметров слоистого пласта на величину нефтеотдачи при циклическом воздействии.

Научная новизна результатов

1. При помощи используемой модели оценена эффективность циклического воздействия на пласты, образованные слоями.
2. Получена оценка глубины проработки пропластков в слоистых пластах за счет периодического воздействия.
3. Получены зависимости оптимального периода циклического воздействия от протяженности и упругоемкости пласта.
4. Проведен анализ процесса фильтрации в пластах с включениями при стационарном и периодическом режимах воздействия. Показано, что в этом случае распределение скорости фильтрации в пласте и эффективность циклического воздействия существенно зависят от расположения включений.
5. Проведены вычислительные эксперименты по определению влияния условий периодического воздействия на процесс фильтрации. Анализ полученных результатов показал, что циклическое воздействие, осуществляемое на обеих галереях, более эффективно по сравнению со случаями, когда периодическое воздействие производится только на нагнетательной, либо только на добывающей галереях. Получены оценка глубины проработки в зависимости от разности фаз колебаний, осуществляемых на нагнетательной и добывающей галереях, и зависимость нефтеотдачи пласта от амплитуды



колебаний.

Научное и практическое значение работы

Работа носит теоретический и прикладной характер. Предложенная математическая модель нестационарной двухфазной фильтрации, программа для расчетов и визуализации результатов, а также выводы, сделанные на основе проведенных исследований, могут быть использованы в области разработки месторождений, например, для оценки эффективности периодического воздействия на пласт и определения оптимального периода. Данная работа также может быть использована в учебных заведениях в качестве методического материала по изучению процесса фильтрации в слоисто-неоднородных пластах.

Достоверность результатов

Используемая в диссертации математическая модель основана на общих законах и уравнениях механики сплошной среды, а также на физически естественных гипотезах и упрощениях. Произведено тестирование численной модели. Контроль точности вычисления производится по балансовым соотношениям. Полученным с помощью вычислительных экспериментов результатам дано физическое обоснование. Произведено качественное сравнение результатов лабораторного эксперимента и численного расчета, проведенного на его основе. Анализ этого сравнения показывает, что результаты, полученные с помощью физического эксперимента и численного моделирования, согласуются друг с другом.

На защиту выносятся:

1. Результаты анализа влияния периодического воздействия на процесс фильтрации в слоисто-неоднородных пластах.
2. Полученные оценки глубины проработки слоистых пластов за счет циклического воздействия.
3. Результат оценки эффективности периодического воздействия на слоисто-неоднородные пласты и определение зависимости величины оптимального периода от параметров пласта.
4. Численная модель нестационарной двухфазной фильтрации в разрезе пласта и реализованная на ее основе программа для расчета и визуализации

процесса фильтрации.

Апробация работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались:

1. На всероссийской научной конференции "Краевые задачи и их приложения", г. Казань, октябрь 1999 г.
2. На конференции "Проблемы и состояние их решения при эксплуатации горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов", г. Азнакаево, ноябрь 1999г.
3. На международном семинаре "Нелинейное моделирование и управление", г. Самара, июнь 2000 г.
4. На научно-практической конференции "Нефть. Газ - 2000", г. Казань, сентябрь 2000 г.
5. На международном семинаре "Нелинейное моделирование и управление", г. Самара, июль 2001 г.
6. На семинарах отделения механики НИИММ при КГУ.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 6 работ, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и списка литературы. Работа изложена на 131 странице, содержит 47 рисунков и 13 таблиц. Список литературы насчитывает 80 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечается актуальность темы, дан обзор литературы, отмечается недостаточная изученность нестационарной двухфазной фильтрации в слоистых пластах. Здесь же формулируются цели исследования и положения, выносимые на защиту.

В первом разделе формулируется постановка задачи нестационарной двухфазной плоскопараллельной фильтрации в разрезе пласта, описывается чис-

ленная модель, и приводятся результаты тестирования модели.

Принципиальным моментом в данной работе является учет различия относительных фазовых проницаемостей по пропласткам, т.к. неучет этого фактора не даёт возможности объяснить наблюдаемое на практике влияние циклического воздействия на характеристики разработки.

Математическое моделирование нестационарного вытеснения нефти водой в слоистом пласте осуществляется в рамках крупномасштабного приближения, когда пренебрегается капиллярным давлением и силой тяжести. В данной работе исследуется нестационарная фильтрация. Поэтому в математической модели учитывается упругость пласта. Как известно, в этом случае система уравнений, описывающая процесс двухфазной фильтрации, может быть записана в следующем виде:

$$\operatorname{div} \vec{v} + \beta \frac{\partial p}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$\operatorname{div} f \vec{v} + s \beta_1^* \frac{\partial p}{\partial t} + m_0 \frac{\partial s}{\partial t} = 0, \quad (2)$$

где $\vec{v} = -\kappa \vec{k}^* \operatorname{grad} p$, p - давление, s - водонасыщенность, m_0 - пористость, $\beta = \beta_2^* + s(\beta_1^* - \beta_2^*) = \beta_c + m_0[s\beta_1 + (1-s)\beta_2]$, $\beta_1^* = \beta_c + m_0\beta_1$, β_1, β_2 и β_c - упругость воды, нефти и поровой среды, $f = k_1^* / (\mu_1 \cdot k^*)$, μ_1, μ_2 - вязкость воды и нефти, κ - абсолютная проницаемость, k_1^*, k_2^* - относительные фазовые проницаемости воды и нефти, $k^* = k_1^* / \mu_1 + k_2^* / \mu_2$ - относительная подвижность.

Полученная система уравнений (1), (2) является гиперболической относительно функции водонасыщенности и параболической относительно функции давления. Предполагается, что функция водонасыщенности принадлежат классу однозначных, кусочно-непрерывных, ограниченных функций, а функция давления - классу непрерывных функций с кусочно-непрерывными производными.

В предлагаемой модели считается, что пласт состоит из гидродинамически связанных слоев с существенно различными физическими характеристиками, та-

кими как толщина, пористость, абсолютная и относительные фазовые проницаемости и другие параметры. Следовательно, на границах разделения слоев должны выполняться обычные условия сопряжения.

Граничные условия по водонасыщенности на нагнетательной галерее определяются из условия отсутствия потока нефти. На нагнетательной и добывающей галереях задается периодический закон изменения значения дебита или давления. Считается, что кровля и подошва пласта непроницаемы.

В качестве начальных условий задается первоначальное распределение полей водонасыщенности и давления.

Фильтрационная задача является нелинейной, поэтому для ее решения используются разностные методы. При численном моделировании с целью улучшения аппроксимации потоков выбрана сдвинутая на полшага сетка как по горизонтали, так и по вертикали. Далее записываются консервативные разностные уравнения, аппроксимирующие уравнения поставленной фильтрационной задачи. Водонасыщенность в полуузлах выражается через среднеинтегральные значения с помощью дробно-линейной интерполяции в зависимости от направления потока.

Расчет давления производится с помощью быстро сходящегося итерационного метода. Водонасыщенность вычисляется по явной схеме. Используемая разностная схема для вычисления водонасыщенности устойчива, если временной шаг удовлетворяет условию (критерию) Куранта. Дополнительно на временной шаг налагается ограничение, связанное с периодичностью воздействия на процесс фильтрации. Для хорошей аппроксимации закона циклического воздействия в одном периоде должно укладываться несколько временных шагов.

На основе представленной математической модели создана программа на ЭВМ, позволяющая рассчитать динамику изменения полей давления и водонасыщенности, основные характеристики разработки, а также дающая возможность визуально наблюдать процесс фильтрации. Проведено тестирование модели.

Во втором разделе производится исследование влияния циклического воздействия на процесс фильтрации в слоистых пластах. Как известно, в таких пла-

стах при стационарной фильтрации нагнетаемая вода проходит преимущественно по высокопроницаемым пропласткам, оставляя невыработанными слабопроницаемые. И чем больше различия слоев по фильтрационным свойствам, тем меньше охватываются заводнением пропластки с низкой проницаемостью (см. рис. 1).



Рис. 1. Распределение водонасыщенности в слоистом пласте на момент закачки $\tau_v = 0.12$ порового объема воды

1. Проведенные вычислительные эксперименты показывают, что использование периодического воздействия в слоистых пластах приводит к дополнительному перетоку жидкости через границу раздела слоев. В результате происходит охват заводнением нетронутых при стационарном режиме участков пласта.

В подразделе 2.1. исследовалось влияние циклического воздействия на процесс фильтрации при вариации относительных фазовых проницаемостей слоев. Функциональная зависимость для относительных фазовых проницаемостей включает в себя три параметра: степенной показатель, связанная и предельная водонасыщенность. Показывается, что на эффект дополнительного вовлечения в процесс фильтрации слоев с плохими фильтрационными свойствами влияют все три варьируемых параметра, входящих в функциональную зависимость относительных фазовых проницаемостей от водонасыщенности. Эффект тем больше, чем сильнее отличаются эти параметры в слоях.

В проведенных экспериментах расчеты заканчиваются после закачки в пласт полутора поровых объемов воды. На протяжении всего процесса фильтрации прослеживается тенденция увеличения нефтеотдачи в плохопроницаемых пропластках и уменьшения в хорошопроницаемых за счет межслойных перетоков жидкости, возникающих благодаря периодическому воздействию. Но, следует отметить, что различия значений нефтеотдачи при стационарном и циклическом режимах воздействия достигают в определенный момент времени максимального

значения, а затем снова уменьшаются (см. рис. 2).

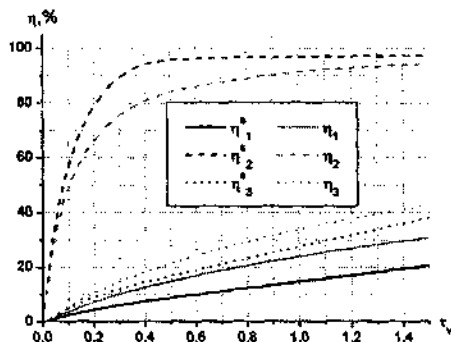


Рис. 2. Временные зависимости нефтеотдачи слоев

при стационарном (с индексом s) и периодическом воздействии на пласт

Проведена серия экспериментов, в которой исследуется влияние различия слоев по пористости. При уменьшении пористости хорошопроницаемого слоя по сравнению с остальными влияние нестационарного воздействия увеличивается.

В подразделе 2.2. производится оценка глубины проработки плохопроницаемого слоя. Под *глубиной проработки* понимается линейный размер области пропластка, дополнительно вовлекаемый в процесс заводнения за счет периодического воздействия на пласт. Исследования процесса фильтрации только на основании значения нефтеотдачи по пропласткам не достаточно для определения того, насколько интенсивно вовлекаются в процесс фильтрации слои с плохими фильтрационными свойствами. Для более детального анализа полученных результатов проведено сравнение полей водонасыщенности, рассчитанных при стационарном режиме и при периодическом воздействии, и дана оценка глубины проработки.

Проведены эксперименты, в которых циклическое воздействие на пласт производится со стороны нагнетательной галереи, со стороны добывающей галереи и с обеих сторон. Эффективность каждого из этих способов и, соответствен-

но, глубина проработки различны. Наибольший эффект получен для варианта, в котором воздействие производится на обеих галереях, промежуточный - при циклическом изменении дебита только на нагнетательной галерее, наименьший - на добывающей галерее.

Далее проводится серия экспериментов, целью которой является исследование процесса фильтрации в зависимости от толщины слоя с высокой проницаемостью. Анализ полученных результатов не позволяет определить при какой толщине высокопроницаемого слоя глубина проработки больше, а при какой меньше. Но есть определенная тенденция. При заданных параметрах пласта можно определить, на какую глубину в слой с низкой проницаемостью проникают дополнительные перетоки в результате циклического воздействия. Показано, что в случае, когда толщина плохопроницаемого слоя близка к этому значению глубины проработки, эффективность нестационарного воздействия будет максимальной. Более детально этот вопрос изложен в подразделе 2.4.

Следующая серия экспериментов посвящается исследованию зависимости глубины проработки от отношения абсолютных проницаемостей пропластков. Анализ производится на основании полученной зависимости прироста нефтеотдачи от положения Z за счет циклического воздействия (см. рис. 3). С ростом отношения абсолютных проницаемостей происходит снижение глубины проработки слоя с низкой проницаемостью. Но, несмотря на это, с увеличением различия относительных проницаемостей растет приращение нефтеотдачи слоя с низкой проницаемостью и, как следствие, повышается эффективность циклического воздействия на пласт.

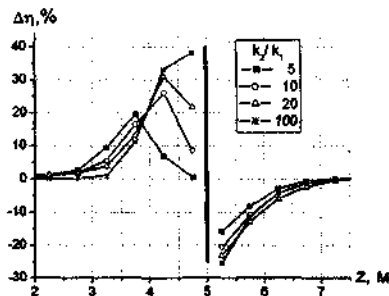


Рис. 3. Зависимость прироста нефтеотдачи $\Delta\eta$ от z (координата по-вертикали) при различных отношениях абсолютных проницаемостей слоев

На основе результатов серии экспериментов, описанной в подразделе 2.2.2, сделан вывод о том, что наиболее эффективно периодическое воздействие, оказываемое с обеих сторон. Возникает вопрос о влиянии на процесс фильтрации разности фаз колебаний на галереях. Проведенные эксперименты показали, что наибольший прирост нефтеотдачи за счет нестационарного воздействия получается в случае, когда колебания на галереях производятся в фазе (синхронно).

Представляет интерес исследование зависимости глубины проработки от количества закачанной в пласт воды. Дополнительные перетоки жидкости через границу раздела слоев происходят на протяжении всего времени. Таким образом, глубина проработки слоя с низкой проницаемостью со временем увеличивается, но скорость увеличения уменьшается. Это объясняется тем, что на поздней стадии разработки пласта водонасыщенность вблизи границы раздела пропластков по обе ее стороны выравнивается, и, следовательно, уменьшаются перетоки нефти в высокопроницаемый слой.

В подразделе 2.3. идет речь об определении оптимального периода циклического воздействия. Под оптимальным понимается такой период воздействия на пласт, при котором суммарная нефтеотдача на момент окончания расчета максимальна. Значение оптимального периода воздействия существенно зависит от па-

раметров пласта.

Исследуется зависимость оптимального периода от протяженности пласта при прочих одинаковых параметрах. В экспериментах циклическое воздействие производится только со стороны нагнетательной галереи. Анализ полученных результатов показал, что более протяженному пласту соответствует большее значение оптимального периода.

Далее исследуется влияние сжимаемости воды и нефти на значение оптимального периода. Вычислительные эксперименты показали, что циклическое воздействие приводит к эффекту только если значения упругоёмкостей отличны от нуля. Анализ результатов показывает, что оптимальный период и соответствующее значение дополнительной нефтеотдачи в большей степени зависят от упругоёмкости нефти.

Следующая серия экспериментов посвящается параметрическому анализу влияния периодического воздействия на процесс фильтрации в слоистом пласте.

В пластах слоистой структуры толщина слоев и их абсолютные проницаемости существенно влияют на процесс фильтрации. Поэтому в экспериментах данной серии исследуется зависимость характеристик разработки от этих факторов. Моделирование производится на пласте, состоящем из двух пропластков. Первый слой обладает плохими фильтрационными свойствами (низкая абсолютная проницаемость, кубические относительные фазовые проницаемости). Второй — напротив, обладает высокой абсолютной проницаемостью и линейными фазовыми проницаемостями.

В подразделе 2.4.1 показано, что чем больше различие абсолютных проницаемостей слоев, тем сильнее влияние нестационарного режима воздействия на значение конечной нефтеотдачи по сравнению со стационарным режимом. При вариации отношения толщин слоев с высокой и низкой проницаемостью (подраздел 2.4.2) показано, что если хорошопроницаемый слой превосходит плохопроницаемый по толщине, то циклическое воздействие не приводит к сколько-либо ощутимому повышению нефтеотдачи пласта в целом. Аналогичный результат получается и в случае очень узкого хорошопроницаемого слоя. Таким образом,

ощутимую эффективность в результате циклического воздействия удастся, наблюдать только если толщины пропластков, составляющих пласт, лежат в определенном диапазоне значений (для каждого слоя свой диапазон).

Для обобщения результатов подразделов 2.4.1 и 2.4.2 проведена серия экспериментов, отличительной особенностью которой является то, что при изменении отношения толщин и проницаемостей слоев толщина пласта в целом и среднеинтегральное значение абсолютной проницаемости пласта остаются неизменными.

На основании полученных результатов можно заключить, что с ростом отношения абсолютных проницаемостей слоев наблюдается повышение значения максимума относительного увеличения нефтеотдачи за счет нестационарного воздействия и сдвиг оптимального значения отношения толщин слоев, при котором эффект увеличения нефтеотдачи максимален (см. рис. 4). Косвенно обоснование этим эффектам дается в подразделах 2.4.1 и 2.4.2. В частности, увеличение относительного изменения нефтеотдачи с ростом различия слоев по проницаемости в заданных пределах связано с уменьшением значения конечной нефтеотдачи при стационарном режиме фильтрации притом, что абсолютное изменение нефтеотдачи в результате циклического воздействия на пласт немного увеличивается.

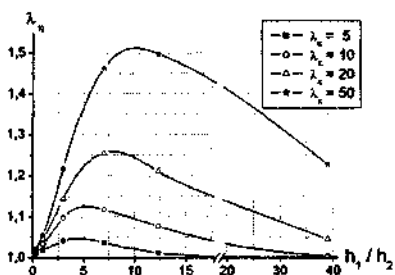


Рис. 4. Зависимость относительного приращения нефтеотдачи $\lambda_\eta = \eta/\eta'$

от отношения толщин λ_k и абсолютных проницаемостей слоев

В заключение исследования влияния нестационарного режима воздействия на процесс фильтрации в слоистых пластах в подразделе 2.4.3 приводятся результаты расчетов, в которых варьируется амплитуда циклического воздействия.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что с ростом амплитуды эффективность нестационарного воздействия на пласт увеличивается. Эксперименты при очень больших значениях амплитуды колебаний не производились. Но уже для приведенных значений видно, что полученная зависимость относительного изменения нефтеотдачи от амплитуды циклического воздействия выпуклая вверх.

В третьем разделе проводится исследование процесса фильтрации в пластах сложного строения. В лаборатории НИИММ при КГУ Ю.А. Корнильцевым создана установка, позволяющая моделировать процесс фильтрации в слоистых, трещиновато-пористых пластах. В частности, на этой экспериментальной установке проведена серия экспериментов по исследованию процесса фильтрации в пласте с высокопроницаемыми включениями.

Построенная математическая модель позволяет провести исследование процесса фильтрации не только в слоистых пластах, но также в пластах, в которых физические свойства (абсолютные и фазовые проницаемости, пористость) могут изменяться по-горизонтали или, другими словами, в пластах с включениями. Выбирается 4 варианта схем пласта с включениями, на которых производится моделирование процесса фильтрации: две схемы с высокопроницаемыми включениями (симметричная и несимметричная) и две схемы с крупными низкопроницаемыми включениями (симметричная и несимметричная) (см. рис. 5). Несимметричная схема пласта с высокопроницаемыми включениями выбирается подобной той, что исследуется в одном из физических экспериментов, проведенных Ю.А. Корнильцевым. Проведенный вычислительный эксперимент подтверждает, что в этом случае кроме горизонтальных потоков жидкости также наблюдаются интенсивные вертикальные потоки, в результате чего процесс фильтрации происходит по змеевидной траектории.

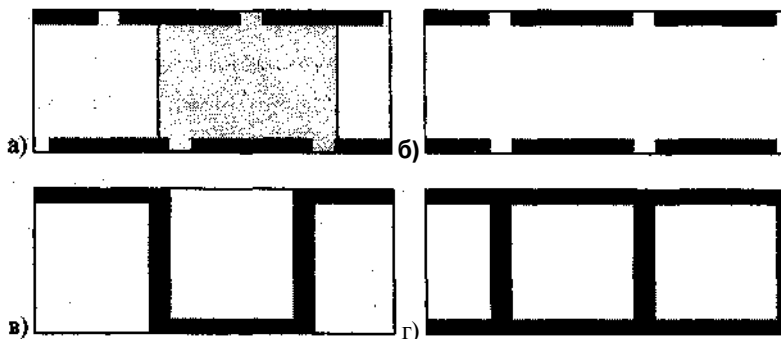


Рис. 5. Схемы пласта с высокопроницаемыми (а и б) и низкопроницаемыми (в и г) включениями

На приведенных рисунках (рис. 5) масштаб по-вертикали и по-горизонтали различный. Поэтому для наглядности на рис.6 приводится без нарушения пропорций изображение фрагмента схемы пласта с высокопроницаемыми включениями, выделенного затенением на рис. 5а.



Рис. 6. Изображение с соблюдением пропорций фрагмента схемы пласта с высокопроницаемыми включениями, выделенного затенением на рис. 5а

На основании полученных распределений скорости фильтрации и динамики распределения водонасыщенности во времени для всех четырех вариантов схемы пласта с включениями делаются выводы:

1. Наличие неоднородности по проницаемости приводит к значительному изменению поля распределения скорости фильтрации по сравнению со слоистым пластом. В результате возникают вертикально направленные потоки жидкости и, соответственно, повышается эффективность нефтеизвлечения.
2. В симметричных схемах пласта процесс фильтрации вблизи горизонталь-

ной линии симметрии происходит с малыми скоростями. В результате появляются области, которые долгое время остаются с большим содержанием нефти. В отличие от этого, в несимметричных пластах движение происходит от кровли до подошвы и обратно. Это приводит к тому, что весь пласт охватывается заводнением и областей с высоким содержанием нефти практически не остается. Таким образом, симметрия строения пласта неблагоприятна для эффективности нефтеизвлечения.

3. Процесс фильтрации в пласте с высокопроницаемыми включениями происходит более эффективно, чем в схожих схемах пласта, в которых включениями являются области с низкой проницаемостью.

В итоге наиболее благоприятной, с точки зрения получаемого нефтеизвлечения, является схема пласта с несимметрично расположенными высокопроницаемыми включениями. Промежуточное положение занимают варианты с симметричными высокопроницаемыми и несимметричными плохопроницаемыми включениями. И последним следует расположить вариант с симметричными плохопроницаемыми включениями.

В подразделе 3.2. приводятся результаты вычислительных экспериментов по моделированию процесса нестационарной фильтрации в пластах сложного строения. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Эффективность циклического воздействия выше:
 - а) для схем пласта, обладающих симметрией, по сравнению с подобными несимметричными схемами пласта.
 - б) для случая пласта с плохопроницаемыми включениями.
2. В исследуемых схемах пласта влияние циклического воздействия происходит только в непосредственной близости к нагнетательной галерее из-за того, что в них по протяженности происходит смена проницаемости областей, за исключением варианта с симметрично расположенными плохопроницаемыми включениями.
3. Схему пласта с симметрично расположенными плохопроницаемыми включениями можно трактовать как слоистый пласт, в котором верхний и ниж-

ний слой с высокой проницаемостью, а средний плохопроницаемый слой с регулярно расположенными высокопроницаемыми включениями. В силу этого факта изменение направления скорости фильтрации благодаря циклическому воздействию наблюдается по всей протяженности пласта. Несмотря на то, что амплитуда изменения давления в пласте максимальна у нагнетательной галереи и уменьшается при удалении от нее, наибольшая эффективность от периодического изменения давления на галерее наблюдается в средней по протяженности части пласта.

В заключении приводятся основные результаты проведенных исследований. На их основании делаются выводы об эффективности использования метода циклического воздействия на слоисто-неоднородные пласты.

Автор выражает глубокую признательность и искреннюю благодарность своему научному руководителю Чекалину Анатолию Николаевичу за предложенную тему исследований и постоянный интерес к работе, а также всем сотрудникам отделения механики НИИММ при КГУ за внимание и поддержку при выполнении работы.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Федоров В.Н. Об эффекте циклического воздействия на слоистый нефтяной пласт. // Материалы Всероссийской научной конференции "Краевые задачи и их приложения". Казань, 18-24 октября 1999 г. - Казань: "Унипресс", 1999г. - С. 178-181.
2. Волков Ю.А., Файзуллин И.Н., Кормильцев Ю.В., Фёдоров В.Н., Чекалин А.Н. О циклическом воздействии через горизонтальные скважины на пласты, представленные различными типами коллекторов. // Тр. научно-практической конференции "Проблемы и состояние их решения при эксплуатации горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов". Азнакаево, 22-25 ноября 1999г. - Казань: "Новое знание", 2000г. - С. 254-263.
3. Чекалин А.Н., Конюхов В.М., Федоров В.Н. Моделирование вытеснения нефти водой при нестационарном воздействии на слоисто-неоднородные пла-

- сты // Материалы международного семинара "Нелинейное моделирование и управление", 26-30 июня 2000 г., Самара. - Самара, 2000. - С. 136-137.
4. Конюхов В.М, Чекалин А.Н., Корнильцев Ю.А., Федоров В.Н. Исследование нестационарного заводнения в пластах сложного строения с помощью физического и численного моделирования // Новые идеи поиска, разведки и разработки нефтяных месторождений. Труды научно-практической конференции, Казань, 5-7 сентября 2000г. - Казань, 2000. - Т.2. - С. 493-501.
5. Конюхов В.М, Чекалин А.Н., Федоров В.Н. Исследование влияния циклического воздействия на нефтяные пласты сложного строения // Обзорение прикладной и промышленной математики. Т.8, Вып.1, Изд-во "ТВП": Москва.-2001.-С. 410-411.
6. Чекалин А.Н., Федоров В.Н., Конюхов В.М. Моделирование вытеснения нефти водой при нестационарном воздействии на слоисто-неоднородные пласты // Изв. РАЕН, МММИУ, 2001, т. 4, № 3-4, С. 76-102.

Подписано в печать 02.04.2003 Формат бумаги 60х90 1/16
Усл. печ. л 1,25 Заказ 41 Тираж 100

Отпечатано на ризографе в ЗАО "Леон"
Адрес: 420124, г.Казань, ул. Проточная, 8